Optische koppelaars

Met optische koppelaars kunt u twee systemen volledig galvanisch van elkaar scheiden. Dank zij deze onderdelen kunt u een 230 V vermogensregeling ontwerpen, die volledig veilig uit een andere schakeling is aan te sturen. Een overzicht van de diverse typen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 23-05-2018

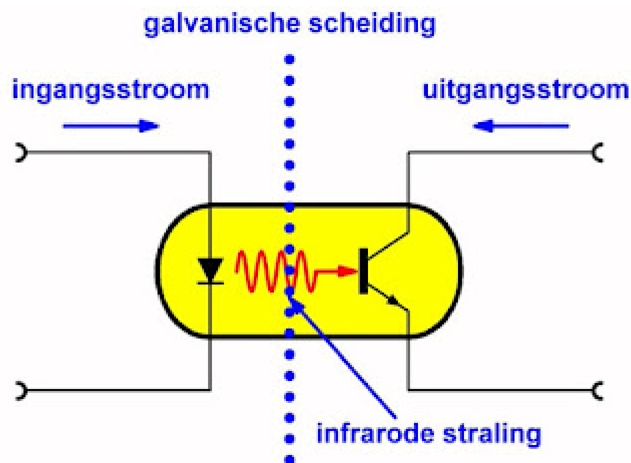
Basisprincipes van optische koppelaars

Galvanische scheiding

Nu steeds meer elektrische apparaten een elektronische besturing bevatten zijn optische koppelaars niet meer weg te denken uit de moderne ontwerppraktijk. Zij zijn overal in het dagelijkse leven terug te vinden. Optische koppelaars, ook wel opto-couplers of opto-isolators genoemd, zorgen voor de overdracht van elektrische signalen in systemen waarbij een galvanische scheiding tussen signaalbron en ontvanger absoluut noodzakelijk is. Dit is bijvoorbeeld nuttig ter vermijding van aardlussen of wanneer een groot spanningsverschil tussen twee schakelingen bestaat. Dit is het geval in schakelingen die 'iets' met de netspanning doen, bijvoorbeeld het vermogen ervan regelen. Dank zij de optische koppelaar bestaat er geen geleidende (galvanische) verbinding tussen de besturingsingang en de geregelde netspanning. Door hun groot frequentiebereik (zij zijn zowel voor gelijkspanning als voor vrij hoge frequenties bruikbaar) en geringe afmetingen worden zij vaak toegepast als vervanger van signaaltransformatoren.

Algemene principes

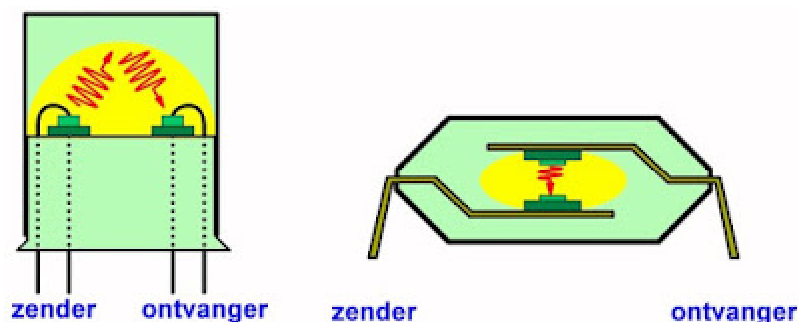
De signaaloverdracht gebeurt bij optische koppelaars, zoals voorgesteld in onderstaande figuur, via een optische weg. Het elektrisch signaal wordt aan de zendzijde omgezet in een optisch signaal (licht). Hiervoor wordt een LED (**L**icht **E**mitterende **D**iode) gebruikt die infrarood licht uitstraalt. Bij wisselspanning worden twee anti-parallel geschakelde LED's toegepast. De ontvanger kan een foto-transistor, foto-darlington, foto-diode, foto-FET, foto-triac, foto-thyristor of een geïntegreerde detector zijn die het optisch signaal weer omzet in een elektrisch signaal. Wordt voor de zender een Gallium-Arsenide (GaAs) diode gebruikt dan zal deze, wanneer er stroom in doorlaatrichting doorheen gaat, infrarood licht met een golflengte van circa 950 nm uitstralen. Dit voor het oog onzichtbare licht wordt via een lichtgeleidend medium naar de detector gestuurd die dan, afhankelijk van de intensiteit (primaire stroomsterkte) een uitgangsstroom opwekt.



Overdracht van een elektrisch signaal via een optische koppeling.
(© 2018 Jos Verstraten)

Soorten van optische koppelaars
Er zijn in principe twee manieren om het optisch signaal over te brengen: door reflectie en door directe straling.

- **Reflectie:**
  In onderstaande figuur is links geschetst hoe een opto-koppelaar met metalen behuizing (bijvoorbeeld CNY18) is opgebouwd. De infrarode straling van de diode bereikt de foto-transistor niet direct, maar pas na reflectie tegen het oppervlak van het koppelmedium en gedeeltelijk ook via de binnenzijde van de behuizing. Door de geringe afmetingen zijn de isolatie-afstanden zo kort dat de isolatiespanning meestal slechts 500 V bedraagt.
- **Directe straling:**
  In de rechter afbeelding wordt de moderne opbouw in een zogenaamde DIL-behuizing getoond, zoals bij de SFH600. Hierbij straalt het uit de diode afkomstige infrarode licht via een lichtgeleidend medium (kunsthars) direct op de foto-transistor. Op deze manier kunnen sterke koppelingen (grote CTR = Current Transfer Ratio I_q /I_f) worden gerealiseerd. De isolatiespanning bedraagt dan meestal enkele kV.



Een reflectie-type (links) vergeleken met een type met directe staling (rechts).
(© 2018 Jos Verstraten)

Specificaties van koppelaars

Isolatie voorschriften
Opto-koppelaars worden meestal gebruikt om twee schakelingen, die zich vaak op verschillende potentialen bevinden, galvanisch van elkaar te scheiden. Hoe groot het potentiaalverschil is dat op grond van internationale voorschriften veilig gescheiden kan worden, hangt niet alleen af van de eigenschappen van de koppelaar, maar ook van het type schakeling en de omgevingscondities tijdens bedrijf. Bekende algemeen toegepaste voorschriften zijn onder andere UL, BSI, VDE, NORDIC en DEMKO.

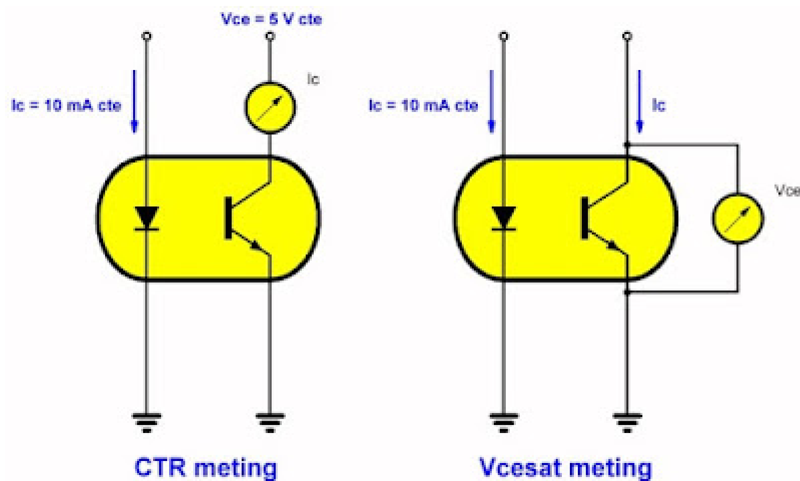
Isolatieweerstand
Dit is de gelijkstroomweerstand tussen de ingang en de uitgang van de opto-koppelaar. De waarde hiervan is minstens 10^{11} Ω, waardoor die groter is dan u meestal kunt bereiken bij de montage van de opto-koppelaar op een printkaart. Bij het ontwerpen van printkaarten met optische koppelaars moet u dus beseffen dat er, vooral als grote potentiaalverschillen overbrugd worden, kruipstromen in het nA-gebied kunnen optreden die de werking van de schakeling beïnvloeden. Remedies hiertegen zijn bijvoorbeeld een sleuf in de printkaart frezen of een met aarde verbonden geleider tussen de in- en uitgang aanbrengen (guarding).

Isolatiecapaciteit
Afhankelijk van het ontwerp vormen de ondergrond van het systeem, de emitterende diode en de foto-transistor samen een capaciteit. De totale waarde hiervan kan liggen tussen 0,3 pF en 2 pF en wordt gemeten met kortgesloten in- en uitgangen. Snelle veranderingen van een hoge spanning (500 V/µs) tussen ingang en uitgang van de koppelaar worden door deze koppelcapaciteit overgedragen, waardoor vooral via de basis een fout in de schakeling kan optreden.

Isolatiespanning
De isolatie testspanning is de maximaal toelaatbare spanning die kortstondig (bijvoorbeeld in de vorm van inductieve spanningspieken) tussen de in- en de uitgang van de opto-koppelaar mag staan. Met de bedrijfsspanning (rated isolation voltage) wordt de maximale spanning aangeduid die continu over de koppelaar mag staan. De maximale toegelaten isolatiespanning is sterk afhankelijk van de lucht- en kruipafstanden die bij het ontwerp zijn gebruikt.

Het gedrag in elektrische velden
Bij opto-koppelaars wordt met veldeffect bedoeld de langzame verandering van de elektrische parameters (vooral van transistoren) wanneer gedurende langere tijd (enkele dagen) een spanning tussen ingang en uitgang wordt gehandhaafd. Dit proces treedt vooral sterk op bij een hoge temperatuur (100 °C) en een hoge gelijkspanning (1 kV). De veranderingen van de parameters van een silicium foto-transistor kunnen ontstaan door vrijkomende ladingsdragers. Een sterk elektrisch veld kan daardoor een identiek effect veroorzaken als bij een MOS-transistor (inversie aan de oppervlakte). Dit kan veranderende versterking, sperstroom en sperspanning veroorzaken, waarbij de richting van het veld een beslissende factor is.

Stroomoverdracht verhouding CTR
Naast de bestandheid tegen hoogspanningen is de stroomoverdracht verhouding (koppelfactor, **C**urrent **T**ransfer **R**atio, CTR) een essentieel kenmerk van opto-koppelaars. De stroomoverdracht komt overeen met de β (stroomversterking) van een gewone transistor en kan op dezelfde manier worden gemeten. In dit geval wordt echter niet de basis maar de anode en kathode van de zenddiode aangesloten, zie onderstaande figuur. De stroomoverdracht verhouding wordt aangegeven in procenten, zoals I_C/I_F = 100 %. Bij sommige merken worden de opto- koppelaars naar CTR gerangschikt. De CTR wordt gewoonlijk opgegeven bij I_F = 10 mA en V_{CE} = 5 V.
De koppelfactor is afhankelijk van het uitstralende vermogen van de emitterende diode, de kwaliteit van de lichtoverdracht en de gevoeligheid en versterking van de transistor.

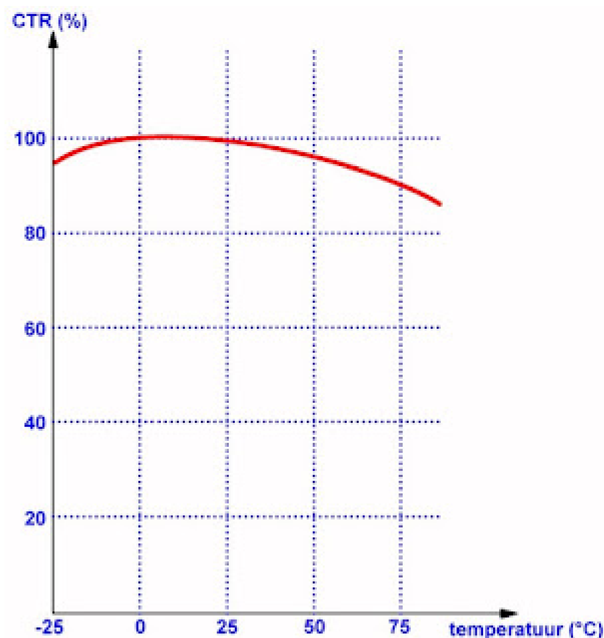


Meting van de stroomoverdracht verhouding CTR (links) en bepaling van V_{CEsat} (rechts).
(© 2018 Jos Verstraten)

Verzadigingsspanning V_{CEsat}
Bij het gebruik in logische schakelingen is behalve de CTR ook de verzadigingsspanning van de foto-transistor (V_{CEsat}) van belang.

Lineariteit
De stralingsenergie van licht emitterende dioden is niet evenredig met de stroomsterkte. Bij grotere stromen neemt de lichtopbrengst meer dan proportioneel toe. Bovendien wordt ook de versterking van de foto-transistor groter bij toenemende stroom. De koppelfactor CTR neemt dus sterker dan lineair toe bij grotere ingangsstroom. Als vuistregel geldt dat een toename van 1 mA tot 10 mA van de diodestroom een twee- tot drievoudige verhoging van de CTR tot gevolg heeft.

Invloed van de temperatuur
Het temperatuurgedrag van de koppelaar wordt bepaald door de verschillende temperatuureigenschappen van de LED en de foto-transistor. Terwijl de stralingsenergie van de diode afneemt bij hogere temperaturen wordt de fotostroom van een foto-diode of de collectorstroom van een foto-transistor juist groter. Door een infrarood zenddiode en een foto-transistor in één behuizing onder te brengen ontstaat een min of meer temperatuurstabiel onderdeel, de temperatuurkarakteristieken van beide elementen compenseren elkaar. Tussen 0 °C en 50 °C vertoont de CTR een vlak maximum (I_F = 10 mA, V_{CE} = 5 V). De CTR neemt bij hogere temperaturen af en blijft bij lagere temperaturen nagenoeg constant. Bij kleine stroomsterkten (I_F = 1 mA, V_{CE} = 5 V) heeft de negatieve temperatuurscoëfficiënt van de diode de overhand, zodat het maximum van de CTR dan naar de lagere temperaturen verschuift. In onderstaande figuur is de CTR als functie van de temperatuur uitgezet voor het normale werkgebied (10 mA, 5 V). U ziet dat de CTR bij kamertemperatuur vrijwel constant is.



De koppelfactor CTR als functie van de temperatuur.
(© 2018 Jos Verstraten)

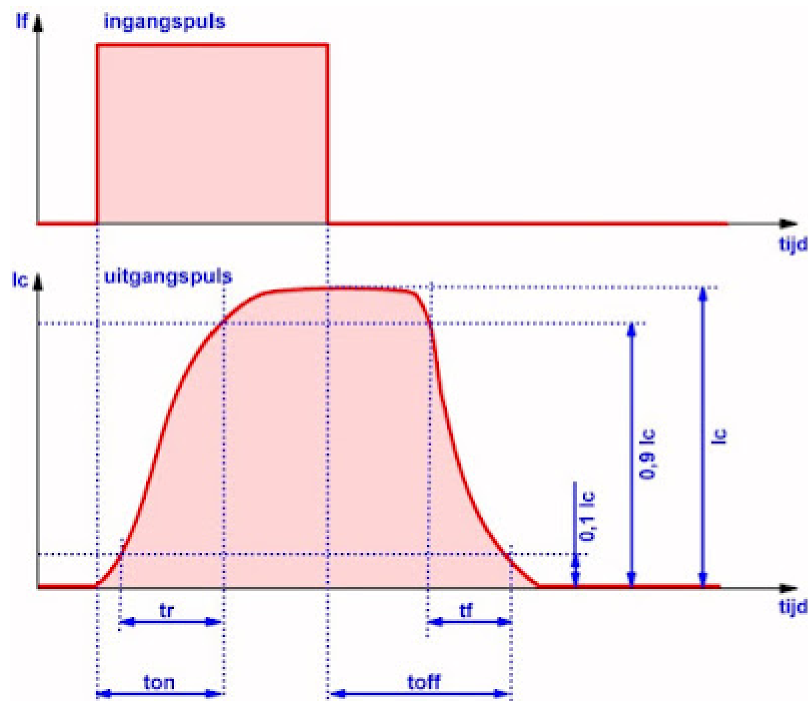
Degradatie
Wanneer een LED langdurig in bedrijf is, neemt de stralingsenergie als gevolg van veroudering merkbaar af. Dit verschijnsel noemt men ***degradatie***. Bij opto-koppelaars heeft dat een verminderde koppelfactor CTR tot gevolg. Vooral als u opto-koppelaars gebruikt voor de overdracht van signalen op logisch niveau, bijvoorbeeld als galvanische scheiding tussen een processor en zijn omgeving (I/O-kaarten, converters), kan het gebeuren dat er na enige tijd fouten optreden. Een aanwijsbare oorzaak is dan vaak de veroudering van een of meer opto-koppelaars. Bij het ontwerpen van schakelingen moet u dus rekening houden met een bepaalde mate van veroudering. Door grote stromen en/of hoge temperaturen wordt de degradatie bespoedigd. Dikwijls kiest men zodoende voor opto-koppelaars met een grote CTR (= kleine ingangsstroom).
U kunt de veroudering vertragen door de ingangs-LED zoveel mogelijk uit te laten (kleine duty-cycle: aan/uit-verhouding) en de koppelaar op een zo koel mogelijke plaats te monteren. Eventueel kunt u overwegen op kritische plaatsen lineaire opto-koppelaars (zie laatste hoofdstuk van dit artikel) toe te passen.

Schakeltijden
Opto-koppelaars met een foto-transistor als detector hebben schakeltijden van ongeveer 3 µs (t_{on}/t_{off}) in de lineaire mode bij een R_L van 75 Ω. De definitie van de schakeltijden kan afgeleid worden uit onderstaande figuur:

- **t_{on}:**
  Inschakeltijd (turn-on time). De tijd waarin de collectorstroom I_C toeneemt tot 90 % van de maximale waarde na activering van I_F.
- **t_r:**
  Stijgtijd (rise time). De tijd waarbinnen de collectorstroom I_C toeneemt van 10 % tot 90 % van zijn eindwaarde.
- **t_{off}:**
  Uitschakeltijd (turn-off time). De tijd waarin de collectorstroom I_C afneemt tot 10 % van de maximale waarde na de-aktivering van I_F.
- **t_f:**
  Afvaltijd (fall time). De tijd waarin de collectorstroom I_C daalt van 90 % tot 10 % van de maximale waarde.

Als de transistor door oversturing wordt verzadigd (V_{CEsat} > 0,4 V) ontstaat een aanmerkelijk langere uitschakeltijd (turn-off tijd) doordat de opslagtijd en afvaltijd sterk toenemen.
De schakeltijden worden hoofdzakelijk bepaald door de Miller-capaciteit C_{cb} van de foto-

transistor en de belastingsweerstand R_L. De schakeltijden van de LED zijn pas merkbaar bij kleine waarden van R_L.

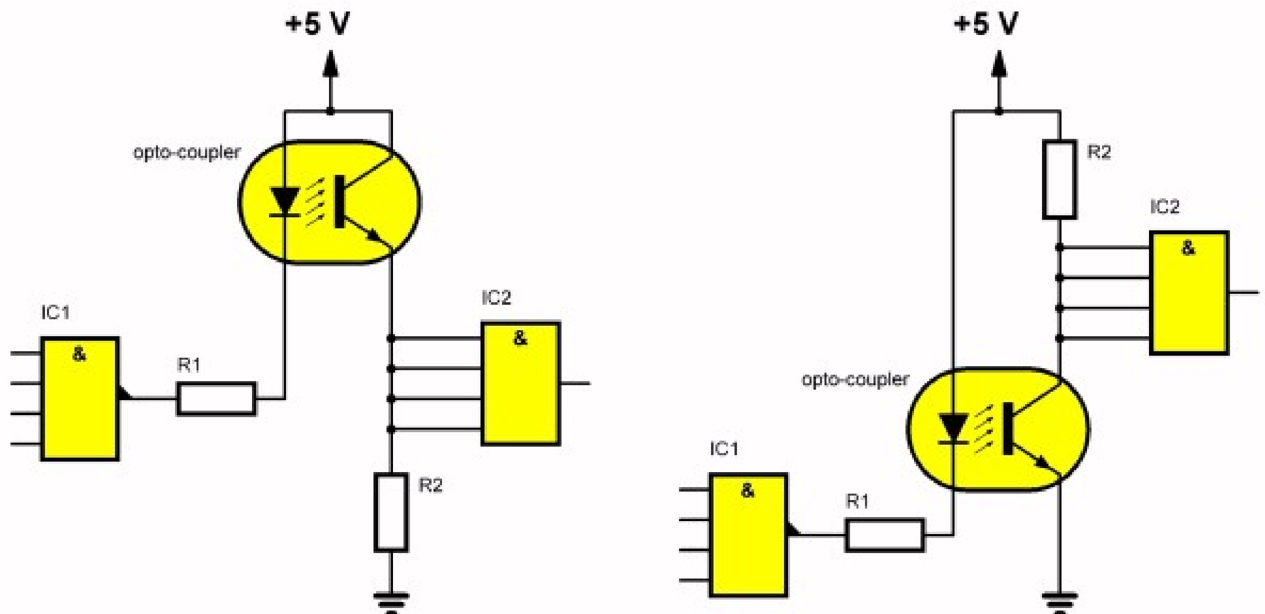


Definitie van de schakeltijden van een optische koppelaar. (© 2018 Jos Verstraten)

Tijdconstante
Meestal wordt in de collector- of emitterleiding van de foto-transistor een weerstand aangebracht. De spanningsval over deze weerstand is dan het uitgangssignaal. De tijdconstante van de foto-transistor in een opto-koppelaar kan nog iets worden verkleind door een tweede transistor tussen uitgang en belasting op te nemen. Een kortere tijd dan 2 μs is echter niet mogelijk omdat de schakeltijd van GaAs-dioden reeds circa 2 μs bedraagt. Wanneer u de tweede transistor samen met de foto-transistor als darlington schakelt, ontstaat een fotoversterker met grote gevoeligheid die echter aanmerkelijk trager is dan de foto-transistor alleen.

Principeschakelingen

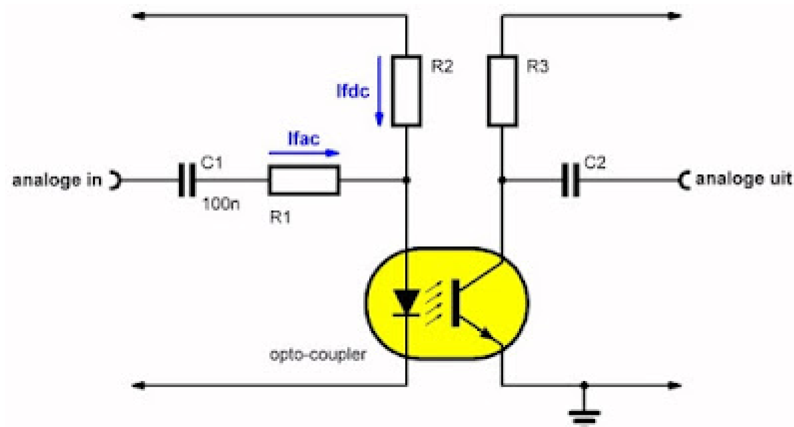
Aansturing vanuit TTL-logica
In onderstaande figuur is een schema getekend waarbij de LED van de optische koppelaar uit een TTL-poort wordt aangestuurd. De werking van de schakeling links is inverterend. Om een te kleine emitterweerstand te vermijden moet de poort aan ontvangstzijde een low-power Schottky (LS) component zijn. Rechts is een niet-inverterende aansturing vanuit een TTL-poort getekend. Deze manier van schakelen biedt de beste condities aan zowel zendzijde als ontvangstzijde.



Aansturing vanuit TTL, inverterend (links) en niet-inverterend (rechts). (© 2018 Jos Verstraten)

Laagfrequent overdracht
In onderstaande figuur is het basisschema gegeven voor LF-overdracht. Om laagfrequente signalen met een zo gering mogelijke vervorming over te dragen moet I_{Fac} vele malen groter zijn dan I_{Fdc}. Het werkpunt dat met I_{Fdc} wordt ingesteld moet namelijk in het lineaire gebied van de emitterdiode liggen. Karakteristieke waarden daarvoor zijn:

- I_{Fdc} = 10 mA
- I_{Fac} = 1 mA



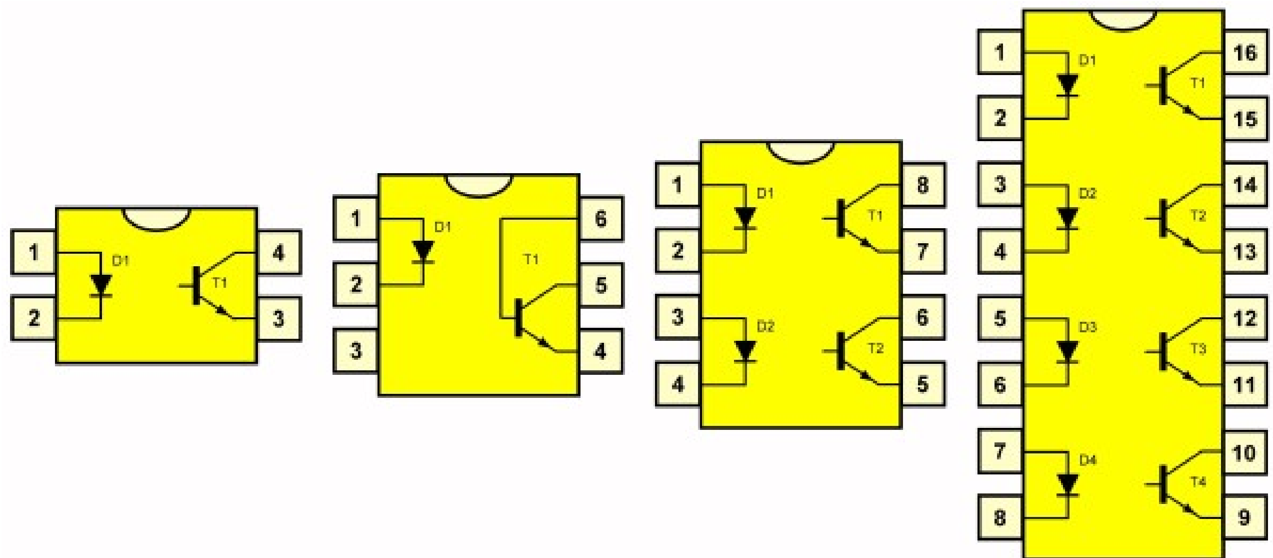
Gebruik van een optische koppelaar om laagfrequent signalen over te dragen. (© 2018 Jos Verstraten)

Uitvoeringen van opto-koppelaars

Inleiding
Vroeger bestonden er alleen optische koppelaars die waren opgebouwd uit één LED en één fotogevoelige transistor. Door het toenemend gebruik van deze onderdelen in alle takken van de elektronica zijn fabrikanten op het idee gekomen om meerdere soorten op de markt te brengen. U kunt tegenwoordig geen toepassing meer verzinnen waar geen kant-en-klare optische koppelaar voor te koop is. In de volgende paragraafjes worden de verschillende uitvoeringen met hun standaard aansluitingen en behuizingen in het kort besproken.

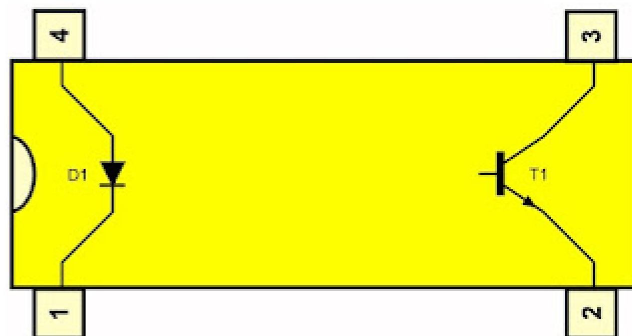
LED's naar foto-transistoren
In onderstaande figuur zijn de standaard uitvoeringen van een optische koppelaar met foto-transistoren in de uitgang getekend. De eenvoudigste uitvoering is ondergebracht in een DIL-

4 behuizing en bevat één LED en één foto-transistor, waarvan de basis niet beschikbaar is. Maar dat is niet zo'n bezwaar, want deze zult u niet vaak gebruiken. Er zijn uitvoeringen in DIL-6, waarbij u wél aan de basis kunt komen. Een dubbele uitvoering wordt in DIL-8 in de handel gebracht. Het gevolg is uiteraard wel dat er geen plaats is voor de basisaansluitingen. Bij de viervoudige uitvoering in DIL-16 behuizing schuilt echter een addertje onder het gras! Bij sommige uitvoeringen zijn de anodes en kathodes van de LED's omgewisseld. Bovendien zijn er exemplaren in de handel, waarbij de vier LED's om en om zijn geschakeld. Dus vanaf pen 1 tot pen 8: anodel - kathodel - kathode2 - anode2 - anode3 - kathode3 - kathode4 - anode4.



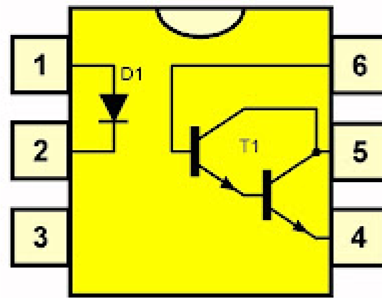
De standaard uitvoeringen van optische koppelaars
met LED's en foto-transistoren. (© 2018 Jos Verstraten)

Hoogspannings-uitvoeringen
Tot slot zijn de LED/foto-transistor koppelaars nog beschikbaar in hoogspannings-uitvoering in een speciale behuizing. Deze behuizing heeft maar vier aansluitingen, zie onderstaande figuur en de afstand tussen de pennen 1 + 4 en 2 + 3 is afhankelijk van de isolatiespanning van de koppelaar.



Hoogspannings-uitvoering van de standaard optische koppelaar.
(© 2018 Jos Verstraten)

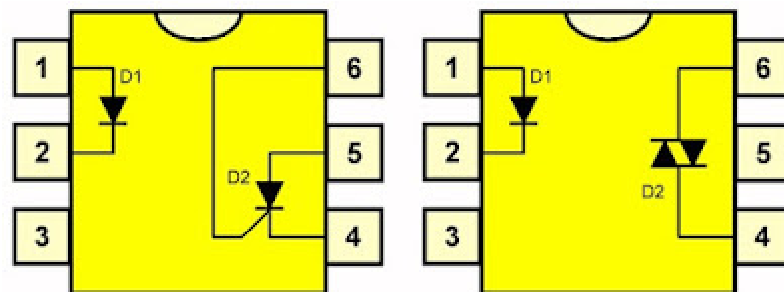
Darlington uitgang
Bij sommige optische koppelaars voert men de gevoeligheid op door de transistor te vervangen door een darlington, een combinatie van twee transistoren. Het basisschema van deze onderdelen is getekend in onderstaande figuur.



Een optische koppelaar met een foto-darlington.
(© 2018 Jos Verstraten)

Optische koppelaars met thyristoren
Vaak zult u een optische koppelaar gebruiken om een wisselspanningsbelasting te schakelen met een gelijkspanning. Met de traditionele foto-transistor koppelaar moet u dan een vrij uitgebreide externe schakeling aanbrengen. Vandaar dat men optische koppelaars op de markt heeft gebracht waarbij het secundaire element is uitgevoerd als foto-thyristor. Deze onderdelen zijn natuurlijk ook foto-gevoelig en hebben als groot voordeel dat er rechtstreeks een wisselspanning over kan worden aangesloten.

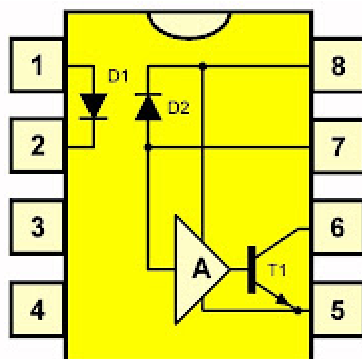
Optische koppelaars met triac's
Nog veel handiger zijn optische koppelaars met een foto-triac als secundair element. Met dergelijke schakelingen kunt u wel heel eenvoudig een optisch relais maken, waarmee u zware netspanningsbelastingen kunt schakelen. Weliswaar is de ingebouwde triac niet in staat de noodzakelijke stromen te leveren. Maar deze foto-triac kan zonder meer gebruikt worden als ontsteek-element voor een tweede, veel zwaardere externe triac.



Optische koppelaars met een foto-thyristor of -triac als secundair onderdeel.
(© 2018 Jos Verstraten)

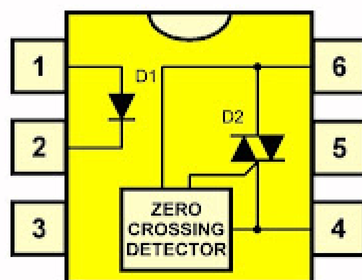
Speciale optische koppelaars

Optische koppelaars met ingebouwde voorversterker
Naast de tot nu toe besproken standaard uitvoeringen brengen verschillende fabrikanten speciale uitvoeringen op de markt voor specifieke toepassingen. Als een foto-transistor voor een bepaalde toepassing te traag is kan men hem vervangen door een foto-diode. Omdat de stroom die een dergelijk onderdeel levert echter zeer klein is, wordt meestal een voorversterker in de optische koppelaar ingebouwd. Hoewel er verschillende configuraties in omloop zijn is deze die geschetst is in onderstaande figuur een van de meest gebruikte. De foto-diode wordt uitgevoerd op de pennen 8 en 7, zodat u deze eventueel extern in een schakeling kunt opnemen. De voorversterker wordt afgesloten met een transistor met open-collector en open-emitter uitgangen.



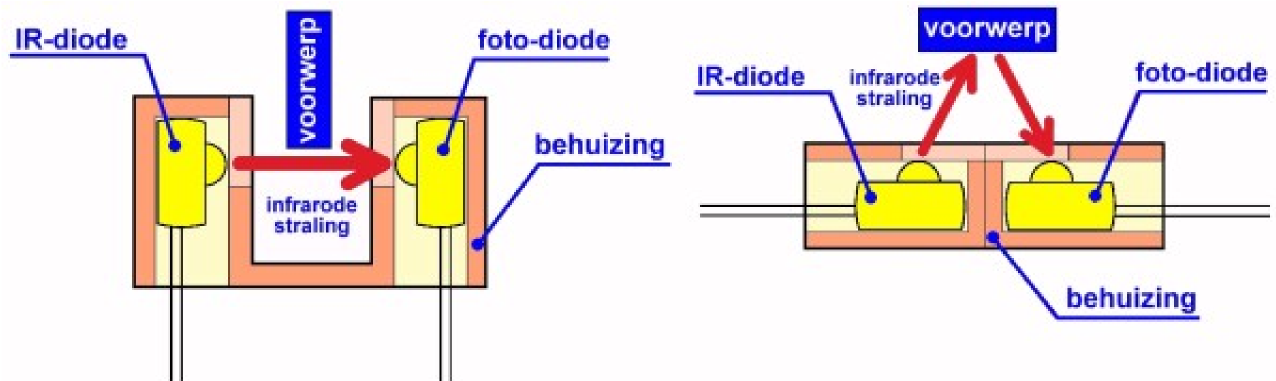
Koppelaar met foto-diode en een interne voorversterker.
(© 2018 Jos Verstraten)

Optische koppelaars met nuldoorgang detectie
U zult optische koppelaars vaak toepassen voor het galvanisch gescheiden schakelen van de 230 V netspanning. In dat soort toepassingen kunt u de speciale optische koppelaars van de MOC30xx-serie toepassen. Deze bestaan uit een infrarode LED en een foto-triac die alleen in geleiding kan komen op het moment dat de netspanning door de nul gaat. Hierdoor voorkomt u dat er grote inschakelstromen in het net en in de geschakelde belasting ontstaan. Bovendien is de opto-triac in het onderdeel in staat rechtstreeks de 230 V netspanning te schakelen.



Koppelaar uit de MOC30xx-serie met zero-crossing detectie.
(© 2018 Jos Verstraten)

Photo-interrupters
Een speciale tak uit de familie van de optische koppelaars houdt zich bezig met het contactloos tellen van voorwerpen of gebeurtenissen. Bij deze niet gestandaardiseerde onderdelen wordt de voor de mens onzichtbare infrarode optische koppeling tussen de zender en de ontvanger niet in het onderdeel zélf tot stand gebracht, maar extern. Deze optische koppelaars gaan door het leven onder de naam ***'photo-interrupters'***. Zoals deze naam reeds doet vermoeden, kunt u de optische koppeling onderbreken met een extern voorwerp. Hierdoor wordt het mogelijk volledig contactloos voorwerpen te tellen of het toerental van een draaiende as te meten. In onderstaande figuur zijn beide uitvoeringen van de photo-interrupter voorgesteld. Bij de linker moet u het te tellen voorwerp tussen de zender en de ontvanger aanbrengen, zodat de infrarode koppeling tussen beide onderdelen wordt onderbroken. De rechter werkt via reflectie van de infrarode straling op het te tellen voorwerp. Het zal duidelijk zijn dat u niet alle voorwerpen op deze manier kunt tellen. Als het oppervlak van het voorwerp licht absorbeert werkt dit systeem niet.



De twee uitvoeringen van photo-interrupters. (© 2018 Jos Verstraten)

Lineaire optische koppelaars

Degeneratie van optische koppelaars

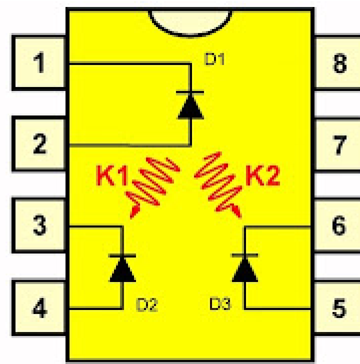
Optische koppelaars met infrarode LED's lijken ideaal, maar u moet helaas rekening houden met verouderingsverschijnselen. Licht-emitterende dioden hebben immers, afhankelijk van de bedrijfstemperatuur en tijd, een niet-lineair gedrag. De lichtopbrengst daalt onmerkbaar maar gestaag. Als u LED's in opto-koppelaars gebruikt om signalen door te geven kunnen hierdoor grote problemen ontstaan. Bij het koppelen van besturingssignalen zal het signaal aan de secundaire zijde na verloop van tijd niet groot genoeg meer zijn. De problemen worden nog groter als geen onkritische stuurpulsen doorgekoppeld worden, maar gelijkspanningen die door sensoren worden geleverd. Door de degeneratie van de LED gaat de ijking van het systeem volledig verloren. Weliswaar kunt u de degradatie minimaliseren door de LED-stroom zo klein mogelijk te maken, maar dit heeft nadelen zoals beïnvloeding van de schakelsnelheid.

De lineaire optische koppelaar

Het probleem van degeneratie van LED's kunt u oplossen door zogenoemde ***'lineaire optische koppelaars'*** toe te passen. Bij deze onderdelen wordt een infrarode LED optisch gekoppeld met twee foto-dioden. Deze lichtgevoelige detectoren reageren volgens een lineair verband op de stroom door de LED. Eén detector geeft het signaal door naar de uitgang, de tweede koppelt een deel van het signaal terug naar de ingang. De kleiner wordende lichtuitstraling van de LED wordt door beide detectoren waargenomen. De eerste detector zal dus een steeds kleiner wordend signaal opwekken. De tweede detector doet dit ook, maar via een regelschakeling wordt er nu voor gezorgd dat de stroom door de LED gaat stijgen. Het verouderingsverschijnsel wordt dus gecompenseerd en de eerste detector zal weer voldoende signaal aan de uitgang leveren. Een bijkomend voordeel van de lineaire opto-koppelaar is dat deze geschikt is voor wissel- en gelijkspanningssignalen.

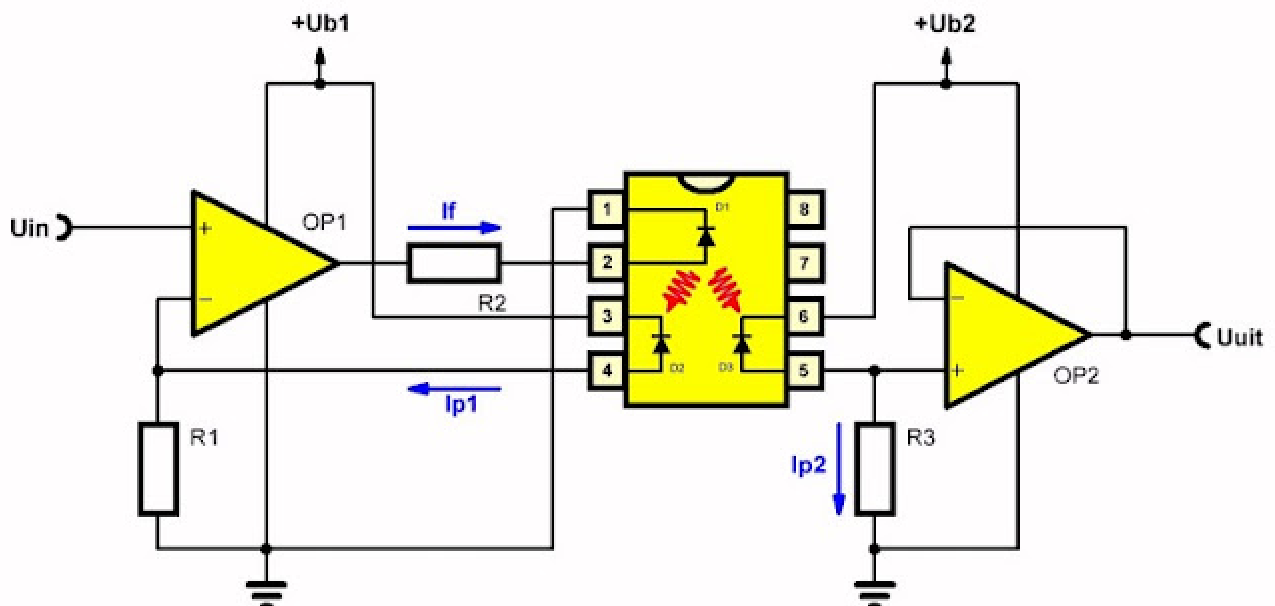
Interne schakeling

De interne schakeling van een lineaire optische koppelaar kan dus voorgesteld worden zoals getekend in onderstaande figuur. De twee factoren K_1 en K_2 stellen de koppelfactoren voor tussen de LED (pennen 1/2) en de twee fotodetectoren (pennen 3/4 respectievelijk 5/6).



Interne schakeling van een lineaire optische koppelaar.
(© 2018 Jos Verstraten)

Principiële werking
De lineaire optische koppelaar levert de basis van het systeem, maar de ontwerper moet zélf de externe schakeling ontwerpen waardoor het systeem gaat werken. Wat er op neer komt dat u het onderdeel in een terugkoppeling moet opnemen. In onderstaande figuur is het principe van een lineaire opto-koppelaar in een versterkerschakeling getekend. De foto-dioden staan in sperrende toestand. De terugkoppelende foto-diode detecteert een deel van het door de LED uitgestraalde infrarode licht. Dit onderdeel genereert een signaal I_{p1} dat wordt gebruikt om de stroom door de LED te regelen. De tweede foto-diode levert een uitgangssignaal I_{p2} dat een lineair verband vertoont met het resulterende licht dat door de LED wordt uitgestraald.



Principiële schakeling rond een lineaire optische koppelaar. (© 2018 Jos Verstraten)

Eigenschappen
De stabiliteit van de koppelversterking tussen de ingang en de uitgang is een gevolg van het gebruik van zorgvuldig geselecteerde foto-dioden met identieke optische eigenschappen. Het systeem is bruikbaar tot een bandbreedte van ongeveer 200 kHz. De lineariteit en driftkarakteristieken komen dan overeen met die van een 8 bit D/A-omzetter met een lineariteitsfout van ±1 bit. In de bovenstaande figuur wordt de ingang gestuurd met een signaal U_{in}. De terugkoppelende foto-diode levert een stroom I_{p1} die door R1 vloeit. Omdat deze weerstand ook met de inverterende ingang van OP1 is verbonden zal:
$I_{p1} = U_{in} / R1$
De grootte van deze stroom is recht evenredig met de terugkoppel-overdracht (K1) maal de LED-stroom, dus:
$[U_{in} / R1] = [K1 \bullet I_F]$ *(formule 1)*
De op-amp zal de LED met een dusdanige stroom sturen als nodig is om de spanningen op beide ingangen van OP1 gelijk te maken. De foto-diode van de uitgang is verbonden met een niet-inverterende spanningsvolger OP2. De stroom-naar-spanning omzetting vindt plaats door

middel van de belastingsweerstand R3 van de foto-diode. De uitgangsspanning van de versterker is het product van de voorwaartse versterkingsfactor (K2) maal de LED-stroom en belasting van de foto-diode, dus:

U_{uit} = IF ● K2 ● R2 *(formule 2)*

Uit de formules 1 en 2 volgt dat de totale overdrachtsversterking (U_{uit} / U_{in}) gelijk is aan de verhouding van het product van de voorwaartse versterking (K2) maal de belastingsweerstand van de foto-diode (R3) en het product van de terugkoppel-overdracht (K1) maal de ingangsweerstand (R1):

[U_{uit} / U_{in}] = [K2 ● R2] / [K1 ● R1]

De totale overdrachtsversterking is dus volledig onafhankelijk van de stroom door de LED, hetgeen ook de bedoeling was!

Beschikbare typen

CP Clare levert enkelvoudige lineaire optische koppelaars in de reeks LOC110/111/112 en tweevoudige typen als LOC210/211. Texas Instruments levert het enkelvoudige type TIL300.